

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-196355

(43)Date of publication of application : 19.07.2001

(51)Int.Cl. H01L 21/3065
H01L 29/417
H01L 29/78

(21)Application number : 2000-003328

(71)Applicant : KAWASAKI STEEL CORP

(22)Date of filing : 12.01.2000

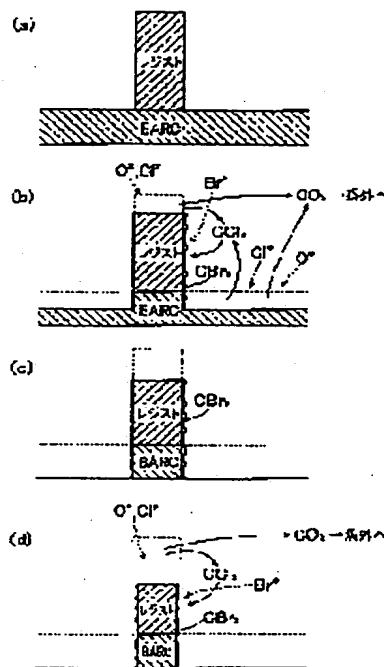
(72)Inventor : SUZUKI YASUTSUGU

(54) MANUFACTURING METHOD OF SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a formation method for a gate electrode of a semiconductor device and an etching method for an organic material film, with which a superior side-wall protecting effect is obtained and counter-base material selectivity and etching rate are improved, and in which there is no pattern density dependence in the pattern dimension, and a method for adjusting dimension of a resist mask pattern in which there is no pattern dependency, in the semiconductor device in which an organic material film is provided on a semiconductor substrate.

SOLUTION: When a semiconductor device provided with at least an organic material film on a semiconductor substrate is etched to form a gate electrode, or the organic material film is etched, or when the dimension of a resist mask pattern is adjusted, a process wherein the organic material film is etched by using an etching gas atmosphere containing oxygen-contained gas, chlorine-contained gas and bromine-contained gas, is contained, thereby solving the problem.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-196355

(P2001-196355A)

(43)公開日 平成13年7月19日(2001.7.19)

(51)Int.Cl.

識別記号

F I

テマート*(参考)

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

J 4 M 1 0 4

29/417

29/50

U 5 F 0 0 4

29/78

29/78

3 0 1 G 5 F 0 4 0

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2000-3328(P2000-3328)

(22)出願日 平成12年1月12日(2000.1.12)

(71)出願人 000001258

川崎製鉄株式会社

兵庫県神戸市中央区北本町通1丁目1番28号

(72)発明者 鈴木 康嗣

東京都千代田区内幸町2丁目2番3号 川崎製鉄株式会社東京本社内

(74)代理人 100080159

弁理士 渡辺 望穂 (外1名)

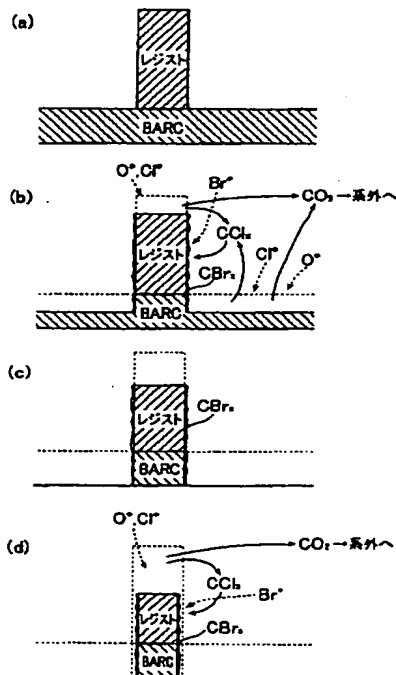
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57)【要約】

【課題】半導体基板上に有機材料膜を有する半導体装置において、良好な側壁保護効果、対下地選択性の向上並びにエッチングレートの向上を達成し、パターン寸法にパターン密度依存がない半導体装置のゲート電極形成方法、有機材料膜エッチング方法、並びにパターン依存性のないレジストマスクパターンの寸法調整方法の提供。

【解決手段】半導体基板上に少なくとも有機材料膜を有する半導体装置をエッチングしてゲート電極を形成し、又は有機材料膜をエッチングするにあたり、若しくはレジストマスクパターンの寸法を調整するにあたり、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて、この有機材料膜をエッチングする工程を含むことにより、上記課題を解決する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】半導体装置のゲート電極を形成する方法であって、

有機材料膜と導電材料膜と絶縁膜とが積層された半導体基板上にレジストパターンを形成する工程と、

前記レジストパターンをマスクとして、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記有機材料膜をエッチングすることにより、前記レジストパターンの寸法を縮小すると共に縮小された前記レジストパターンの寸法に対応する寸法を有する前記有機材料膜のパターンを形成する工程と、

縮小された寸法を有する前記レジストパターンと前記有機材料膜のパターンとをマスクにして前記導電材料膜をエッチングし、縮小された寸法を有する前記レジストパターンの寸法によって決定される寸法を有する前記導電材料膜のパターンを形成する工程とを含むことを特徴とするゲート電極の形成方法。

【請求項 2】前記有機材料膜エッチングのオーバーエッチング量を、前記レジストパターンの寸法の所要の縮小量が得られるように設定することを特徴とする請求項 1 に記載のゲート電極の形成方法。

【請求項 3】半導体基板上の有機材料膜をエッチングする方法であって、

前記有機材料膜上にマスクパターンを形成する工程と、前記マスクパターンをマスクとして、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記有機材料膜をエッチングする工程とを含むことを特徴とする有機材料膜のエッチング方法。

【請求項 4】前記エッチング工程が、前記マスクパターンの寸法と略同一の寸法を有する前記有機材料膜のパターンを形成する工程と、その後、形成された前記有機材料膜のパターンを横方向にエッチングする工程とを含むことを特徴とする請求項 3 に記載の有機材料膜のエッチング方法。

【請求項 5】前記マスクパターンが孤立したマスクパターンと密集したマスクパターンとを含み、前記孤立したマスクパターンの前記エッチング工程前の寸法と、前記孤立したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差が、前記密集したマスクパターンの前記エッチング工程前の寸法と、前記密集したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差と略等しいことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の有機材料膜のエッチング方法。

【請求項 6】前記孤立したマスクパターンの前記エッチング工程前の寸法と、前記孤立したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差が、前記密集したマスクパターンの前記エッチング工程前の

寸法と、前記密集したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差と略等しくなるように、前記エッチングガス雰囲気の前記酸素含有ガスと前記塩素含有ガスとの比率を調整することを特徴とする請求項 5 に記載の有機材料膜のエッチング方法。

【請求項 7】半導体基板上のマスクパターンの寸法を調整する方法であって、

前記半導体基板上にレジストマスクパターンを形成する工程と、

酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記レジストマスクパターンを横方向にエッチングして、所要の寸法のレジストマスクパターンを形成する工程とを含むことを特徴とするレジストマスクパターン寸法の調整方法。

【請求項 8】前記レジストマスクパターンが孤立したマスクパターンと密集したマスクパターンとを含み、前記孤立したマスクパターンの前記エッチング工程での横方向のエッチング量が、前記密集したマスクパターンの前記エッチング工程での横方向のエッチング量が略等しいことを特徴とする請求項 7 に記載のマスクパターン寸法の調整方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体装置のエッチング工程に関し、特に有機材料系膜のエッチング工程に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体装置の高集積化に伴って、微細パターンを高精度かつ高選択比でエッチング加工することが求められるようになってきている。エッチング加工とは、被エッチング膜に合わせたプロセスガスをエッチング槽内に導入し、各放電形式により、マイクロ波や 13.56MHz、27MHz あるいは 60MHz 等の高周波でプラズマを生成し、その一方で半導体ウエハが設置される電極にバイアス電圧を印加することにより、プラズマからウエハに入射するイオンエネルギーを制御しつつ、被エッチング膜の異方性加工を実現するものである。

【0003】高精度なエッチングを実現するためには、エッチングの前工程である写真製版技術を用いたフォトリソグラフィ工程でのフォトリソマスク形成の精度が重要である。また、一方で、高精度化するほど被エッチング物の形状を正確に制御しつつエッチングする必要がある。このため、エッチングによって形成された被エッチング物の側壁を保護することが必要である。

【0004】0.25 μ m 世代以降のフォトリソグラフィプロセスでは、下地からの反射光を抑えるために、反射防止膜すなわち BARC (Bottom Anti Reflection Coating) を用いたプロセスが行われている。このプロセ

スでフォトリソグラフィ工程の際に用いるレジストのさらに下層に有機系の物質であるBARCをコーティングする。BARC層は、下地からの反射を防止するとともに平坦化作用も有し、フォトリソグラフィ工程の高精度化が実現できる。BARCプロセスでは、レジストの現像後に、レジストをマスクとして酸素をメインのエッチャントとしてエッチングを行い、BARC層をパターンニングする。そしてその後に、レジスト及びBARCのパターンをマスクとして、被加工物のエッチングを行う。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来、有機系膜のエッチング、例えば上述したBARCエッチングとして、 $\text{Cl}_2 - \text{O}_2 - \text{Ar}$ 系や、 $\text{O}_2 - \text{HBr}$ 系プロセスガスが主として用いられており、メインエッチングガスである酸素と他の添加ガスの流量比を調整することにより、フォトリソ法からの加工変換差を制御している。

【0006】図3は、 $\text{Cl}_2 - \text{O}_2 - \text{Ar}$ 系プロセスガスを使用した従来のBARCエッチングにおける半導体基板の断面形状の概略図である。BARCエッチングの工程においては、主たるエッチング種である酸素ラジカルはレジストおよびBARCを比較的等方的にエッチングする。このため、基板バイアス電圧が小さい場合、図3(b)のように、等方性のエッチングが優勢となるため、レジストおよびBARCが等法的にエッチングされ、CD (Critical Dimension・・・寸法) lossを引き起こす。これを防ぐためウェハ側のバイアス電圧を増加し、イオンのスパッタリング効果でエッチングされたレジスト成分を側壁に付着させ、保護膜を形成する方法がある。しかし、これが強過ぎると逆に、図3(a)に示すように、CD gainが顕著になったり、レジスト形状が鋭角なテーパーとなり、被エッチング層の形状異常(肩落ち等)を引き起こす。このように、エッチングと側壁保護は微妙なバランスの上に成り立っているため、高いエッチングレートと十分な側壁保護とを両立させることは困難であった。

【0007】また、 $\text{Cl}_2 - \text{O}_2 - \text{Ar}$ 系プロセスガスを使用する場合、 O_2 はCOや CO_2 の形で、 Cl_2 は CCl_x の形でレジストを消費する。これらの生成物は比較的揮発性が高く、エッチング反応は速やかに進行するため、相対的に非エッチング面積(体積)の小さい疎パターンほど、CD lossが大きくなり、デバイス特性に悪影響を及ぼす。従来のガス雰囲気では、 $\text{C} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4$ の反応によって生成された CCl_4 を側壁の保護のために使用している。しかし、酸素ラジカルの等方的なエッチング作用を抑制可能なほどの側壁保護効果を得るためには、酸素の量を減らすことが必要である。その結果、高いエッチング速度と高い寸法精度とを両立することが困難であった。また塩素ラジカルが下地のシリコンに対するエッチング作用を有するため、下地選択性も低くなるという問題があった。

【0008】また、 CCl_4 を生成して側壁の保護のために使用する場合、エッチング系内での生成物の側壁への拡散は等方的に行われるため、パターンの密度によって保護膜の形成状態が異なる。一定の密度のパターンのみをエッチングするのであれば、 Cl_2 と O_2 との比率およびオーバーエッチング量を調整することにより、所望のパターン寸法縮小量を得ることは可能であろう。また、オーバーエッチング量を少なくして、パターン寸法縮小量を所望の値以下にすることも可能かも知れない。

しかし、さまざまな密度のパターンに対して実質的に同一のパターン縮小量を得ることは困難である。

【0009】一方、 $\text{O}_2 - \text{HBr}$ 系においては、HBrが側壁保護の役目を果たす。これはレジストの炭素とエッチングガスの臭素が結合し、レジスト表面や側壁に沸点の低い CBr_x を付着させる。これが酸素の側壁アタックによるCD lossを抑える効果があるが、 O_2 とHBrの適性比の領域が狭く、 O_2 が多ければ疎パターンは細り、HBrが多ければ疎パターンは太ることになる。量産の場合にはレジストの開口率が変動するため、 O_2 とHBrの適性比も変動し、常に最適な状態でエッチングすることは困難である。このため、BARCやレジスト等の有機系膜のエッチングに、 $\text{Cl}_2 - \text{O}_2 - \text{Ar}$ 系や、 $\text{O}_2 - \text{HBr}$ 系ガスをを用いた場合、疎パターンと密パターンで加工変換差が異なってしまうという問題があった。

【0010】本発明は、前記従来の問題に鑑みてなされたものであり、半導体基板上に有機材料膜を有する半導体装置において、極端なレジストのスパッタエッチングを行うことなく良好な側壁保護効果を実現でき、対下地選択性の向上ならびにエッチングレートの向上を達成し、かつ、疎パターンと密パターンとでパターン寸法の差が生じない半導体装置のゲート電極形成方法および有機材料膜のエッチング方法、ならびにパターン依存性のないレジストマスクパターンの寸法調整方法を提供するものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明者は、上記問題を解決するために鋭意検討した結果、半導体基板上に有機材料膜を有する半導体装置をエッチングするにあたり、酸素含有ガス、塩素含有ガスおよび臭素含有ガスを含むエッチングガス雰囲気を用いて、この有機材料膜をエッチングすることにより、 CBr_x を生成させ、この CBr_x あるいはその派生物を被加工物の表面の必要部分に堆積させることにより上記問題を解決できることを見出し、本発明を完成させた。

【0012】即ち、本発明のゲート電極形成方法は、半導体装置のゲート電極を形成する方法であって、有機材料膜と導電材料膜と絶縁膜とが積層された半導体基板上にレジストパターンを形成する工程と、前記レジストパターンをマスクとして、酸素含有ガスと塩素含有ガスと

臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記有機材料膜をエッチングすることにより、前記レジストパターンの寸法を縮小すると共に縮小された前記レジストパターン寸法に対応する寸法を有する前記有機材料膜のパターンを形成する工程と、縮小された寸法を有する前記レジストパターンと前記有機材料膜のパターンとをマスクにして前記導電材料膜をエッチングし、縮小された寸法を有する前記レジストパターン寸法によって決定される寸法を有する前記導電材料膜のパターンを形成する工程とを含むことを特徴とするものである。

【0013】ここで、前記有機材料膜エッチングのオーバーエッチング量を、前記レジストパターン寸法の所要の縮小量が得られるように設定することが好ましい。

【0014】また、本発明の有機材料膜のエッチング方法は、半導体基板上の有機材料膜をエッチングする方法であって、前記有機材料膜上にマスクパターンを形成する工程と、前記マスクパターンをマスクとして、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記有機材料膜をエッチングする工程とを含むことを特徴とするものである。

【0015】ここで、前記エッチング工程が、前記マスクパターン寸法と略同一の寸法を有する前記有機材料膜のパターンを形成する工程と、その後、形成された前記有機材料膜のパターンを横方向にエッチングする工程とを含むことが好ましい。また、前記マスクパターンが孤立したマスクパターンと密集したマスクパターンとを含み、前記孤立したマスクパターンの前記エッチング工程前の寸法と、前記孤立したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差が、前記密集したマスクパターンの前記エッチング工程前の寸法と、前記密集したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差と略等しいことが好ましい。

【0016】また、前記孤立したマスクパターンの前記エッチング工程前の寸法と、前記孤立したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差が、前記密集したマスクパターンの前記エッチング工程前の寸法と、前記密集したマスクパターンをマスクとしたエッチングによって形成される前記有機材料膜のパターンの前記エッチング工程後の寸法との差と略等しくなるように、前記エッチングガス雰囲気の前記酸素含有ガスと前記塩素含有ガスとの比率を調整することが好ましい。

【0017】また、本発明のレジストマスクパターン寸法の調整方法は、半導体基板上のマスクパターン寸法を調整する方法であって、前記半導体基板上にレジストマスクパターンを形成する工程と、酸素含有ガスと塩素

含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記レジストマスクパターンを横方向にエッチングして、所要の寸法のレジストマスクパターンを形成する工程とを含むことを特徴とするものである。

【0018】ここで、前記レジストマスクパターンが孤立したマスクパターンと密集したマスクパターンとを含み、前記孤立したマスクパターンの前記エッチング工程での横方向のエッチング量が、前記密集したマスクパターンの前記エッチング工程での横方向のエッチング量が略等しいことが好ましい。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明にかかる半導体装置のゲート電極形成方法、有機材料膜エッチング方法およびレジストマスクパターン寸法調整方法について、添付の図面に示される好適実施例を基に詳細に説明する。

【0020】まず、本発明において特徴的なプロセスである、半導体基板上の有機材料膜を、酸素含有ガス、塩素含有ガスおよび臭素含有ガスを含むエッチングガス雰囲気を用いてエッチングするプロセスについて説明する。

【0021】本発明に使用されるプラズマエッチング装置の一実施形態の概略図を示す図1を用いて、本発明において、エッチングを実現するためのプラズマエッチング装置の概略を説明する。図1において、放電管10の上部には、マグネトロン12で発生されたマイクロ波を放電管10に導く導波管14が接続され、放電管10の外側周囲には、ソレノイドコイル16が配設されている。また、放電管10の内部（エッチングチャンバ）にはエッチングを受ける基板（ウエハ）18を置く載置台20が設けられている。本装置は、マグネトロン12によって発生されるマイクロ波とソレノイドコイル16によって発生される磁場の相互作用によって放電管10内に高密度プラズマを発生させ、載置台20上に置かれた基板18上に照射し、エッチングを行うものである。なお、載置台20は下部電極を兼ねており、基板18への入射イオンをコントロールするためにRFバイアスが印加されている。

【0022】基板18は、ロードロック室22より搬送手段24aにより放電管10内の載置台20上に搬送され、エッチングを受ける。このとき、放電管10内のプラズマの発生状態を監視するために発光分光センサ26が、放電管10の側部近傍に設けられている。エッチングの済んだ基板18は、搬送手段24bにより次工程に送られる。なお、図1で符号32はサーキュレータ、34a、34bは補助ポンプである。サーキュレータ32は、ウェハステージ温度を+50℃～-50℃の範囲で制御し、ウェハステージとウェハ間を熱伝導性のよいヘリウムで満たすことにより、ウェハの温度制御を行う。補助ポンプ34a、34bは、ターボ分子ポンプ（TMP）の背圧を排気することにより、ターボポンプを適正

な圧力範囲で動作させるものである。

【0023】本発明において、半導体基板上に有機材料膜を有する半導体装置のエッチングに、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスを含むエッチングガス雰囲気を用いることを特徴としている。本発明におけるエッチング工程について、BARCエッチングを例にとりて、図2を参照しながら説明する。図2は、本発明における、半導体基板上に有機材料膜を有する半導体装置のエッチングプロセスを説明するための基板断面概略図であり、(a)は、エッチング前の断面概略図であり、(b)は、BARCエッチング中の断面概略図であり、(c)は、BARCエッチングが終了したジャストエッチング時の断面概略図であり、(d)は、オーバーエッチング中の断面概略図である。

【0024】まず、図2(a)に示すように、エッチング前は、BARC上には、ほぼBARCに対して垂直(約85°以上)の側壁をもつ、特定の寸法のレジストパターンが形成されている。続いて、酸素含有ガスと塩

(表1)

被加工物	生成物	沸点 (1atm)
シリコン	SiCl ₄	57.6℃
	SiBr ₄	153℃
	CCl ₄	76.7℃
	CBr ₄	189.5℃
シリコン酸化膜	SiF ₄	-86℃
	CO	-191.5℃
	CO ₂	-78.5℃
メタル	AlCl ₃	182.7℃ (755mmHg)
	TiCl ₄	136.4℃

【0027】このため本発明では、このような沸点の高い生成物をレジスト表面やウエハ表面の必要な部分に堆積させることにより、被エッチング物の側壁保護効果や下地選択性等を大幅に向上させることができる。しかも、CBr₄はアッシング等の酸素プラズマによりCOBr₂(沸点64.5℃)に変化する。COBr₂は真空雰囲気中で揮発しやすく、かつ水溶性であることから、アッシングとその後の洗浄プロセスで除去が容易である。これらの点において、他の堆積物、例えば、従来のCF系のポリマー(アッシングや洗浄で除去が困難)より優れた性質を有する。また、上述のようにCBr_xは沸点が高いため、ガス状でエッチングチャンバに導入することが困難である。従って、エッチングチャンバ内で生成されるようにガス系を選択することが好ましい。

【0028】このようにして、本発明においては、従来、側壁保護に使用していたCCl₄の場合と異なり、

素含有ガスと臭素含有ガスを含むエッチングガス雰囲気を用いて、このレジストパターンをマスクとして、BARCをエッチングする。このとき、図2(b)に示すように、Cl₂がレジストおよびBARCをエッチングし、エッチング系内にCCl_x(x=1~4)の形で炭素を供給する。例えば、C+2Cl₂→CCl₄という反応が考えられる。

【0025】このようにレジストやBARCといった有機材料膜をエッチングすることにより供給された炭素と、例えばHBrといった臭素含有ガスから供給される臭素とによってCBr_xが生成される。ここで、xは1~4の整数である。このCBr_xあるいはその派生物を被加工物の表面の必要な部分に堆積させる。ところで、このCBr_x系の化合物、中でもCBr₄は、沸点が189.5℃(1atm)であり、次の表1に示すように、通常のエッチング系の反応生成物では最も沸点の高い生成物の一つである。

【0026】

CBr_x堆積物によって側壁および下地が保護されるため、酸素の量を増やしてBARCエッチング速度を高くできるとともに、寸法精度および下地選択性を高めることができる。

【0029】また、本発明においては、側壁を保護するCBr_x生成の原料となる炭素と臭素を個別にエッチング系に供給している。すなわち、臭素は、例えばHBrガス等の臭素含有ガスとして、炭素は、Cl₂等の塩素含有ガスがレジストもしくはBARCをエッチングしたCCl_xとして、エッチング系に供給している。従って、Cl₂等の塩素含有ガス、HBr等の臭素含有ガスおよびメインエッチングガスであるO₂、酸素含有ガスの比率を適切に設定することにより、パターン密度の差に依存しないエッチングを実現することが可能である。例えば、O₂とHBrとの比率を一定にしてO₂とCl₂との比率を調整することにより、パターン密度依存性を

実質的に無くすることが可能である。

【0030】なお、レジストおよびBARCと酸素との反応によってもCO、CO₂等の炭素含有物がエッチング系内に供給される。しかしこれら炭素酸化物は反応性が低く、また蒸気圧が高く速やかに系外に排気される。従ってCBr_x生成の原料としてはCCl_xの方が効果的である。このように、BARCエッチングが進行しつつあるメインエッチング時には、レジストおよびBARCのエッチングによって十分な量のCBr_x生成原料がエッチング系内に供給される。このため、レジストおよびBARCの側壁が十分に保護され、エッチング工程前、即ち、フォトリソグラフィ工程後のレジストパターンの寸法にほぼ等しい寸法のBARCパターンを形成することができる。

【0031】また、Cl₂から生成される塩素ラジカル(図中、Cl[•]で示す)は、エッチング系内の酸素ラジカル(図中、O[•]で示す)を捕獲することによって、酸素ラジカルによる等方的なエッチング作用を抑制する作用も有する。従って、エッチングガス雰囲気中に供給するO₂とCl₂との比率は、エッチング特性に大きな影響を与える。このようにCCl_xの形で炭素を供給し、酸素ラジカルを捕獲する塩素ラジカルを供給する塩素含有ガスとしては、Cl₂の他に、HCl等が使用できる。また、臭素を供給する臭素含有ガスとしては、HBrの他に、Br₂、BrCl、IBr等が使用できる。

【0032】また、上記例のように、必要に応じてエッチングガス雰囲気中にArやHe等の希ガスを供給することができる。このような希ガスの供給は、後述するようにレジストマスクを細らせていく場合に、掘引き形状を発生させることがないという点で好ましい。また、上記例では、有機材料膜であるBARC上にレジストのマスクパターンが形成されている例を挙げたが、本発明において、同様のエッチングは、BARC層に限られず、レジストや低誘電率絶縁膜等の有機物を主成分とする膜のエッチングに一般的に適用することが可能である。少なくとも低誘電率絶縁膜をエッチングする場合には、主たるエッチング種を供給する主エッチングガスとしては、酸素ガスの他に、水素ガス等も使用可能である。

【0033】本発明のエッチングプロセスにおいて、上述したように、異方性の強いメインエッチングでレジストのパターンをほぼそのままの寸法で下層の有機材料膜パターンに転写することができる。この際に、パターン変換差を極めて少なくするように、基板に印加するバイアスを適切に調整することが重要である。

【0034】ところで、図2(c)のジャストエッチングを経て、(d)のオーバーエッチング工程に入ると、オーバーエッチング量を増やすにつれて、エッチング後に残されたレジストおよびBARCの寸法が減少することが観察された。すなわち、BARCのエッチングがほぼ終了した後に行われるオーバーエッチング時

には、BARCのエッチングによるCCl_xの供給が行われず、エッチング系内への炭素供給量が減少し、十分な量のCBr_xが生成できなくなる。このため、酸素ラジカルによるレジストおよびBARCの側壁の横方向のエッチングが進行するものと考えられる。オーバーエッチング量を増やししながら、レジストおよびBARCの寸法の減少を観察したところ、この両者の関係はほぼ比例関係であることがわかった。

【0035】このような、オーバーエッチング時にオーバーエッチング量に応じてパターン寸法の減少が発生するエッチングは、パターン寸法を調整するいわゆるトリムエッチングとして好適に使用できる。例えば、BARCのオーバーエッチングを適切な条件で行い、レジストおよびBARCパターン寸法を縮小し、この寸法縮小後のレジストおよびBARCをマスクとしてpolySiのエッチングを行うことにより、使用する露光装置の限界よりもさらに細い線幅のゲート構造を形成することができる。もしくは、フォトリソのばらつきによって所定の寸法よりも太いレジストパターンが形成された場合に、必要なだけパターン寸法を縮小し、所定寸法のゲート構造を形成することができる。このような目的のために重要なことは、パターン寸法縮小量の制御範囲が広く、制御性が高いこと、および、レジストパターン側壁の傾斜が変化しないことである。

【0036】本発明においては、このように、BARCエッチングにおいては、最初から横方向のエッチングが行われるのではなく、異方性の強いメインエッチングでレジストのパターンをほぼそのままの寸法でBARCパターンに転写してから、オーバーエッチングにおいて、横方向のエッチングによるパターン寸法の縮小が行われる。このため、メインエッチング中に不可避免的に発生する寸法減少による、寸法減少量制御範囲の下限値が小さい。従って、オーバーエッチング量を調整することによって広い範囲の寸法縮小量を得ることができる。また、この場合もエッチングガス雰囲気中のガスの比率を調整することにより、パターン密度依存性の抑制が可能である。即ち、パターン密度依存性を実質的に無くし、寸法減少量の制御性を高くすることが可能である。さらに、後から述べるように、パターン側壁の傾斜に顕著な変化が見られないことも確認されている。また、本発明において、オーバーエッチングの際に、横方向のエッチングによりパターン寸法の縮小が行われる場合、上述したメインエッチング時と同様に、寸法減少量の制御性を高いものとすべく、基板バイアスを適切に調整することが重要である。

【0037】従来のトリムエッチング技術の例としては、米国特許US5965461に開示されたようなO₂-HBr系のエッチングがある。しかしこの系においても、O₂-Cl₂系の場合と同様の理由で、パターン密度依存性の解消が困難である。

【0038】本発明において、エッチングの対象となる半導体装置のデバイス構造は、半導体基板上にレジストやBARC、低誘電率層間膜等の有機材料膜を少なくとも1種有していればよく、特に限定されない。

【0039】本発明は、以上説明したエッチングプロセスを採用して、ゲート電極を形成し、または有機材料膜をエッチングし、またはレジストマスクパターン寸法を調整するものである。

【0040】本発明の一の態様である半導体装置のゲート電極形成方法は、有機材料膜と導電材料膜と絶縁膜とが積層された半導体上にレジストパターンを形成する工程と、このレジストパターンをマスクとして、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記有機材料膜をエッチングすることにより、前記レジストパターンの寸法を縮小すると共に縮小された前記レジストパターンの寸法に対応する寸法を有する前記有機材料膜のパターンを形成する工程と、縮小された寸法を有する前記レジストパターンと前記有機材料膜のパターンとをマスクにして前記導電材料膜をエッチングし、縮小された寸法を有する前記レジストパターンの寸法によって決定される寸法を有する前記導電材料膜のパターンを形成する工程とを含むものである。ここで、有機材料膜のパターンを形成する工程の説明は、上述したエッチングプロセスの説明と同様である。また、導電材料膜は特に制限がなく、シリコン膜、WSi_x、TiSi_x等のシリコンを含む導電材料膜、W、TiN_x、WN_x等を挙げることができる。また、絶縁膜も特に制限はなく、酸化膜、酸化窒化膜等を挙げることができる。また、前述したように、有機材料膜エッチングのオーバーエッチング量を、レジストパターンの寸法の所要縮小量が得られるように設定することが好ましい。

【0041】また、本発明の他の形態である半導体基板上の有機材料膜のエッチングする方法は、有機材料膜上にマスクパターンを形成する工程と、このマスクパターンをマスクとして、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記有機材料膜をエッチングする工程とを含むものである。上記BARCエッチングの例に加え、例えば、レジストのドライ現像や、有機材料からなる層間絶縁膜のエッチングに適用した場合がこれに当たる。ここで、有機材料膜をエッチングする工程の説明は、上述したエッチングプロセスの説明と同様である。

【0042】また、本発明のその他の態様である半導体基板上のマスクパターンの寸法調整方法は、半導体基板上にレジストマスクパターンを形成する工程と、酸素含有ガスと塩素含有ガスと臭素含有ガスとを含むエッチングガス雰囲気を用いて前記レジストマスクパターンを横方向にエッチングして、所要の寸法のレジストマスクパターンを形成する工程とを含むものである。ここで、レ

ジストマスクパターンを横方向にエッチングする工程の説明は、上述したエッチングプロセスの説明と同様である。上記のBARCエッチングの例もこの態様に含まれる。しかし、例えば、有機系のBARCに代えて無機材料からなる反射防止膜を使用した場合、上述したエッチングプロセスによるBARCエッチングを行う必要はない。その場合にも、同様のエッチングガス雰囲気をを使用したエッチングを行うことにより、レジストマスクパターンの寸法調整を行うことができる。また、例えば、BARC層の利用が必要なエキシマ光での露光を使用する代わりに、i線光での露光と、上述したエッチングプロセスによるレジストマスクパターンの寸法調整を組み合わせれば、高価なエキシマ露光用マスクを使用せずに、微細パターンの形成を実現することができる。

【0043】

【実施例】以下、本発明における、ゲート電極形成方法、有機材料膜のエッチング方法およびレジストマスクパターンの寸法調整方法を実施例に基づいて具体的に説明する。図1に示すプラズマエッチング装置を用いたゲートエッチングへの本発明の適用例を説明する。マグネトロン12から放射されたマイクロ波(2.45GHz)は、導波管14内の大気中を伝播し、放電管10内(エッチングチャンバ)に投射される。放電管10周辺に配置されたソレノイドコイル16は、磁場(0.0875T)を形成し、この磁場中で、電子のサイクロトロン運動とマイクロ波との共鳴により高密度プラズマが発生する。なお、下部電極には、基板18への入射イオンをコントロールするためにRFバイアスが印加されている。

【0044】エッチングに用いたサンプルは、レジスト(800nm)/BARC(100nm)/polySi(220nm)/Gate Oxide(5nm)/Si基板の構造を有する。本実施例は、本発明において採用されるエッチング工程を、BARC層のエッチングに対し、適用したものである。実際には、本発明をBARCエッチング工程のみに適用して、従来の場合と比較を行った。

【0045】まず、0.35μmのマスクを使用してフォト工程を行った後、表2に記載したエッチング条件でBARCエッチングを行った。このときのBARCエッチング特性について表3に示す。エッチングガス雰囲気は、メインエッチングガスであるO₂と、臭素源であるHBrと、レジストおよびBARCをエッチングして炭素をエッチングガス雰囲気に供給するCl₂と、希釈ガスであるArとを含んでいる。BARCエッチングに続いてpolySiをCl₂-O₂-HBr系でエッチングし、O₂-HBr系でpolySiのオーバーエッチングを行った後のパターン寸法測定結果を表4に示す。BARCエッチングのオーバーエッチング量は、50%に設定した。即ち、発光分光によってジャストエッチング状態を検出し、同一のエッチング条件のままで、ジャストエッチングまでの時間に対して50%の時間、オー

パーエッチングを行った。パターン寸法は、ウエハ内5
点で測定し、平均値およびばらつき (3σ)、並びに、
平均値のフォトリソ後の値からの減少量を求めた。測定
は、同一のウエハ上の孤立パターンと密集パターンの両

方について行い、電子ビーム測長装置を使用して実施し
た。

【0046】

(表2)

	従来条件	本発明
ガス流量比	$\text{Cl}_2:\text{O}_2:\text{Ar}$ $=1:1:7$	$\text{Cl}_2:\text{O}_2:\text{HBr}:\text{Ar}$ $=1:2:2:7$
圧力 (Pa)	1.0	0.7
マイクロ波パワー (W)	600	600
RFパワー (W)	15	30

【0047】

(表3)

	従来条件	本発明
BARCエッチング速度 (nm/min)	180	390
BARCエッチング速度 均一性(%)	± 2.9	± 1.5
レジストエッチング 速度 (nm/min)	150	260
レジストエッチング 速度均一性 (%)	± 3.6	± 1.4
BARC/PolySi 選択比 (-)	50	300
RC/PR 選択比(-)	1.2	1.5

【0048】

⁴⁰
(表4)

寸法 (μm)	従来条件		本発明	
	孤立	密集	孤立	密集
ばらつき (3σ)	0.015	0.013	0.011	0.009
減少量 (平均)	0.022	0.014	0.012	0.014

【0049】表3から、本実施例は、BARCエッチング 50 グレートと下地選択性 (BARC/polySi 選択

比)の大幅改善を同時に実現していることがわかる。また、表4から、本実施例において、孤立パターンであるか、密集パターンであるかによらず、エッチング後の寸法のばらつきは少ないことが分かる。しかも、孤立パターンと密集パターンとの寸法差もほとんど発生しない。従って、加工変換差にパターン依存性がほとんどないことがわかる。また、断面形状観察から、側壁傾斜の顕著な変化が発生しないことが確認されている。形成されたBARCパターンの側壁傾斜も、エッチング前のレジスト側壁の傾斜と同程度であった。また、孤立パターンと密集パターンとで、側壁傾斜角度の顕著な差もみられなかった。一方、従来条件では、エッチング後の寸法のばらつきが大きくなり、かつ、孤立パターンと密集パターンとでの顕著な寸法差が発生する。従って、加工変換差がパターンに大きく依存することがわかる。

【0050】次に、BARCエッチング工程でレジストマスクを故意に細らせ、微細加工に応用した例を示す。

0.25 μ mのマスクを使用してフォト工程を行った

(表5)

	従来条件	本発明
ガス流量比	Cl ₂ :O ₂ :Ar =1:1:7	Cl ₂ :O ₂ :HBr:Ar =1:2:2:7
圧力 (Pa)	1.0	1.0
マイクロ波パワー (W)	600	600
RFパワー (W)	15	20

【0052】

(表6)

寸法 (μ m)	フォト工程後		125%		160%	
	孤立	密集	孤立	密集	孤立	密集
平均値	0.266	0.264	0.217	0.209	0.200	0.200
ばらつき (3 σ)	0.014	0.011	0.004	0.007	0.007	0.009
減少量 (平均)	—	—	0.049	0.055	0.066	0.064

【0053】

後、表5に示すエッチング条件でBARCエッチングを行い、続いてpoly SiをCl₂-O₂-HBr系でエッチングし、O₂-HBr系でpoly Siのオーバーエッチングを行った後のパターン寸法測定結果を表6に示す。BARCエッチングのオーバーエッチング量は、125%および160%に設定した。即ち、発光分光によってジャストエッチング状態を検出し、同一のエッチング条件のままで、ジャストエッチングまでの時間に対して125%および160%の時間、オーバーエッチングを行った。パターン寸法は、ウェハ内5点で測定し、平均値およびばらつき(3 σ)、並びに、平均値のフォト工程後の値からの減少量を求めた。測定は、同一のウェハ上の孤立パターンと密集パターンの両方について行い、電子ビーム測長装置を使用して実施した。また表7には、従来条件で160%のオーバーエッチングを行った後のばらつきと平均値の減少量の測定結果を示した。

【0051】

(表7)

寸法 (μm)	160%	
	孤立	密集
ばらつき (3σ)	0.020	0.018
減少量 (平均)	0.072	0.054

【0054】表6から、オーバーエッチング量が増えるにつれて、パターン寸法が減少していることが分かる。この両者のリニアな関係は少なくとも300%程度のオーバーエッチングまで続くことがわかった。また、表6のデータからオーバーエッチング量ゼロにおける縮小量を求めると、0.01μm程度未満と極めて小さいことがわかった。従って、BARCエッチング中には顕著な寸法減少は起きず、主としてオーバーエッチング時に寸法減少が起きていると解釈できる。

【0055】また、表6から、本発明において、オーバーエッチング量を増やして寸法減少量を大きくしても、寸法のばらつきは増大しないことが分かる。しかも、孤立パターンと密集パターンとの寸法差も発生しない。例えば、上記例のように0.05μm以上細らせる場合でも、パターン依存性は極めて低く抑えられていることがわかる。従って、パターン縮小量の制御性が高いことがわかる。寸法のばらつきが増大しないことは、側壁傾斜の変化が小さいことも示唆する。断面形状観察からも、側壁傾斜の顕著な変化が発生しないことが確認されている。形成されたBARCパターンの側壁傾斜も、エッチング前のレジスト側壁の傾斜と同程度であった。また、孤立パターンと密集パターンとで、側壁傾斜角度の顕著な差もみられなかった。一方、従来条件では、表7に示されたように、パターン寸法が減少するのみではなく、ばらつきが大きくなり、かつ、孤立パターンと密集パターンとでの顕著な寸法差が発生する。従って、パターン縮小量の制御性に劣ることがわかる。

【0056】以上、本発明のエッチング方法について詳細に説明したが、本発明は、上述の例には限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良や変更等を行ってもよいのはもちろんである。本発明の要点はCBr_xを生成し被加工物表面の必要な部分に堆積させることにある。被エッチング物質も上の例に限定されるものではない。また、エッチングガス雰囲気内に要求特性を損なわない範囲で上記に例示した以外の原子や遊離基が存在してもかまわない。また、ゲートのBARCエッチングに限定されるものではなく、ドライ現像や有機系（低誘電率）の層間絶縁膜エッチングに適用が可能である。また、例えば、上述の例では、BARCのメ

インエッチングの後に同一の条件でオーバーエッチングを行っているが、ジャストエッチング後にガス流量比、基板バイアス等の条件を変更してオーバーエッチングを行うことも可能である。メインエッチングの条件とオーバーエッチングの条件とを個々に最適化することにより、短い処理時間、ほぼ垂直な側壁形状、パターン密度依存性のない寸法縮小等を、より高いレベルで実現することが可能である。

【0057】

【発明の効果】本発明によれば、半導体基板上に有機材料膜を有する半導体装置において、良好な側壁保護効果を実現でき、対下地選択性の向上ならびにエッチングレート向上を達成し、かつ、疎パターンと密パターンとでパターン寸法の差が生じない、信頼性の高い半導体装置のゲート電極形成方法および有機材料膜のエッチング方法を提供することができる。また、本発明によれば、所要の寸法に調整することができ、かつパターン依存性のないレジストマスクパターンの寸法調整方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明において、エッチングに使用されるプラズマエッチング装置の一実施形態の概略構成図である。

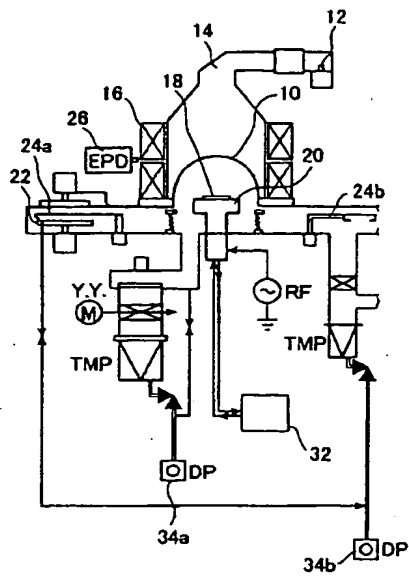
【図2】 本発明において、半導体基板上に有機材料膜を有する半導体装置のエッチング工程を説明するための基板断面概略図であり、(a)は、エッチング前の断面概略図であり、(b)は、BARCエッチング中の断面概略図であり、(c)は、BARCエッチングが終了したジャストエッチング時の断面概略図であり、(d)は、オーバーエッチング中の断面概略図である。

【図3】 Cl₂-O₂-Ar系プロセスガスを使用した従来のBARCエッチングにおける半導体基板の断面形状の概略図であり、(a)は、基板バイアス電圧が大きい場合の概略図であり、(b)は、基板バイアス電圧が小さい場合の概略図である。

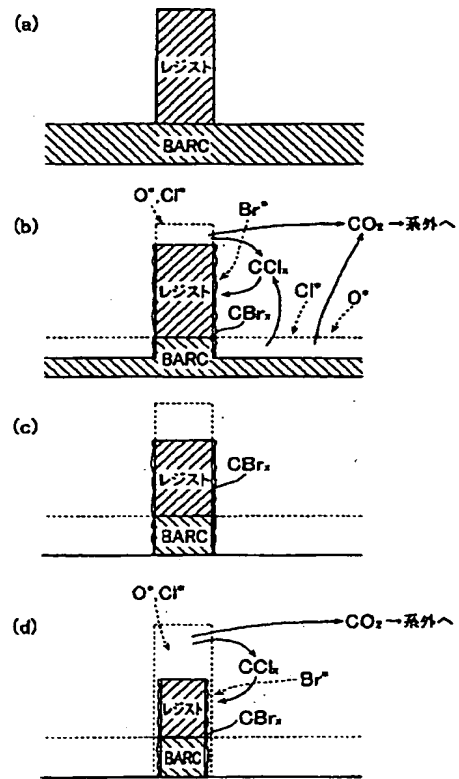
【符号の説明】

- 10 放電管
- 12 マグネトロン
- 14 導波管
- 16 ソレノイドコイル
- 18 基板（ウエハ）
- 20 載置台
- 22 ロードロック室
- 24a、24b 搬送手段
- 26 発光分光モニタ
- 32 サーキュレータ
- 34a、34b 補助ポンプ

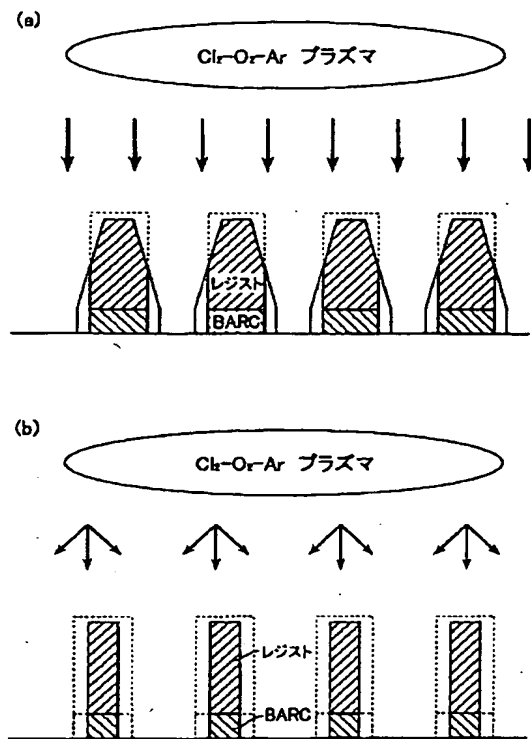
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

F ターム(参考) 4M104 BB01 BB18 BB25 BB28 BB30
 BB33 CC05 DD65 DD67 GG08
 GG14 HH14
 5F004 AA01 BA15 BB14 BB18 BB25
 BB26 CA04 CB02 DA00 DA04
 DA26 DB00 EA22 EB02
 5F040 EC04 FC21 FC22